МАШИНОСТРОЕНИЕ
MACHINE BUILDING



УДК 692.66:006.354
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-7-3-34-43

Научная статья

Оценка влияния внутренних факторов на показатели загруженности пассажирских лифтовых установок на основе результатов регулярного мониторинга

Г.Ш. Хазанович ✉, **Д.С. Апрышкин**
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация
✉ hazanovich@mail.ru

Аннотация
Введение. Обеспечение высокой надежности и безопасности эксплуатации пассажирских лифтовых установок во многом определяется реализуемым режимом их технического обслуживания (ТО). Частота выполнения профилактических воздействий зависит прежде всего от уровня загруженности лифта, для оценки которого используются временны́е, силовые показатели и степень отработки ресурса. В качестве временны́х показателей приняты коэффициент чистого машинного времени (КМВ) и частота включений, которые являются случайными величинами, зависящими от ряда внутренних факторов, характеризующих условия эксплуатации установки. Целью данной работы является установление взаимосвязи средних значений КМВ, как одного из главных показателей загруженности лифтовой установки, и основных внутренних факторов.
Материалы и методы. Исследования выполнены на основе обработки и обобщения статистических материалов диспетчерского контроля временны́х показателей ряда пассажирских лифтовых установок. Случайным образом отобраны 11 лифтов в домах, отличающихся этажностью, количеством жильцов, пользующихся лифтом, и скоростью движения кабины. Для построения эмпирических зависимостей КМВ от числа жильцов, скорости кабины и этажности дома использованы графоаналитические методы. Наряду с техническими параметрами лифта учитывались случайные изменения показателей КМВ по времени суток.
Результаты исследования. Установлены эмпирические зависимости КМВ от основных внутренних факторов — плотности заселения дома, этажности здания и скорости движения кабины. Математические модели обеспечивают получение результатов, адекватных экспериментальным значениям. Ошибка при сравнении расчетных данных с фактическими не превышала в большинстве случаев 10 %.
Обсуждение и заключение. Значения полученных эмпирических зависимостей дают возможность оценивать загруженность установок в текущий период эксплуатации без проведения дополнительных многодневных замеров. Эмпирические формулы можно использовать в качестве базовых соотношений при имитационном моделирования в произвольной стадии жизненного цикла.

Ключевые слова: лифт пассажирский, техническое состояние, показатели загруженности, периодичность технического обслуживания, коэффициент машинного времени

Благодарности: авторы выражают благодарность коллективу ОАО «ЛифтСервис» г. Ростова-на-Дону за предоставленные возможности использовать данные регулярных наблюдений за работой лифтовых установок.

Для цитирования. Хазанович Г.Ш., Апрышкин Д.С. Оценка влияния внутренних факторов на показатели загруженности пассажирских лифтовых установок на основе результатов регулярного мониторинга. *Безопасность техногенных и природных систем*. 2023;7(3):34–43. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-7-3-34-43

Original article

Assessment of the Influence of Internal Factors on the Indicators of Passenger Elevator Units Utilization Based on the Results of Regular Monitoring

Grigorii Sh. Khazanovich ✉, **Dmitrii S. Apryshkin**
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation
✉ hazanovich@mail.ru

Abstract

Introduction. Ensuring high reliability and safety of operation of passenger elevator units is largely determined by the implemented maintenance conditions (MC). The frequency of performing preventive actions depends, first of all, on the level of elevator utilization. Time, power indicators and the degree of remaining life are used to evaluate it. Among the time indicators, the net machine time coefficient (NMT) and the turn-on frequency are accepted, which are random variables depending on a number of internal factors characterizing the operating conditions of the unit. The work objective is to establish the relationship between the average values of NMT, as one of the main indicators of the load of the elevator unit, and the main internal factors.

Materials and Methods. The research was carried out on the basis of processing and generalization of statistical materials of dispatching control of time indicators of a number of passenger elevator units. 11 elevators were randomly selected, differing in the number of floors, the specific number of residents using the elevator, and the speed of movement of the cab. Graphical-analytic methods were used to construct empirical dependences of NMT on the number of residents, the speed of the cab and the number of floors of the building. Along with the technical parameters of the elevator, random changes in the NMT indicators for individual periods of the day were taken into account.

Results. Empirical dependences of the NMT on the main internal factors — the density of occupation, the number of floors of the building and the speed of the cab movement were established. Mathematical models provided results adequate to experimental values. The error when comparing the calculated data with the actual data did not exceed 10 % in most cases.

Discussion and Conclusion. The value of the empirical dependencies obtained consists in the ability to assess the workload of units during the current period of operation without additional multi-day measurements. Empirical formulas can be used as basic relations in simulation modeling at any stage of the life cycle.

Keywords: passenger elevator, technical condition, workload indicators, maintenance interval, machine time coefficient

Acknowledgements: the authors express their gratitude to the staff of Liftservice OAO in Rostov-on-Don for the opportunity to use the data on regular observations of the operation of elevator units.

For citation. Khazanovich GSh, Apryshkin DS. Assessment of the Influence of Internal Factors on the Indicators of Passenger Elevator Units Utilization Based on the Results of Regular Monitoring. *Safety of Technogenic and Natural Systems.* 2023;7(3):34–43. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-7-3-34-43

Введение. Загруженность лифтовой установки в процессе эксплуатации зависит от ряда внутренних факторов, к которым относятся этажность здания, уровень заселенности дома, характеристики лифтовой установки и др. Уровень загруженности лифта оказывает непосредственное влияние на техническое состояние его узлов на протяжении всего срока эксплуатации установки. Одним из методов обеспечения необходимого технического состояния лифта является своевременное выполнение работ по техническому обслуживанию. Ряд исследователей предприняли попытку определить оптимальную периодичность технического обслуживания лифтов с учетом фактической нагруженности системы. В работе «О контроле технического состояния лифтовых канатов на основе технологий искусственного интеллекта и компьютерного зрения» А.В. Панфилов, А.Р. Юсупов, А.А. Короткий, Б.Ф. Иванов рассмотрели применение технологии искусственного интеллекта и компьютерного зрения для контроля технического состояния лифтовых канатов [1]. Исследователи из КНР и Нидерландов проанализировали научно обоснованный выбор стратегии и периодичности ТО [2–6]. Они пришли к выводу, что универсальной целевой функцией должны быть экономические показатели. Для обоснования такого решения приведено утверждение о том, что «техническое обслуживание и аварийные отказы тесно связаны с надежностью лифтового оборудования, но отличаются характером этой связи и экономическими последствиями. Повышение затрат на ТО приводит к сокращению аварийных отказов и к уменьшению затрат, связанных с ликвидацией, и убытков из-за простоев». Таким образом, с одной стороны, растут затраты на ТО, с другой — снижаются расходы на обеспечение надежности.

Поэтому в качестве целевой функции принимается некоторое универсальное соотношение, например, так называемые приведенные затраты, которое учитывает основные экономические составляющие.

Современные системы диспетчерского контроля позволяют проводить постоянный мониторинг состояния лифта, а также получать временны́е показатели работы его основных узлов: чистую продолжительность работы и частоту включений главного привода лифта[1,2]. На основе перечисленных временны́х показателей строится методика определения периодичности ТО. Временны́е показатели также можно отнести к эксплуатационным данным, на основе которых авторами статьи ранее проводилось исследование случаев отказов в работе пассажирских лифтов [7, 8].

Материалы и методы. Для оценки влияния внутренних факторов на показатели загруженности пассажирских лифтовых установок использованы результаты диспетчерских записей временны́х данных работы пассажирских лифтовых установок г. Ростова-на-Дону, а также гипотеза об относительной продолжительности машинного цикла, свидетельствующая о том, что коэффициент машинного времени работы лифтовой установки зависит от следующих основных факторов: этажность здания — N, количество жильцов в подъезде — Z, количество жильцов, пользующихся лифтом — Z_0, средняя скорость движения кабины — $v_{ср}$,м/с, грузоподъемность — R, чел., количество квартир в подъезде — $M_к$, количество квартир в подъезде, жильцы которых не пользуются лифтом — $M_{к1}$ [9].

Как показано в работе[3], среднее машинное время рейса (без учета остановок на вход и выход пассажиров) пропорционально количеству этажей здания. Эту зависимость приводит Д. С. Апрышкин в своей диссертации «Оценка технического состояния машин с канатной тягой на основе имитационного моделирования»[3].

В целях исследования авторами отобраны 11 лифтовых установок жилых домов г. Ростова-на-Дону (таблица 1). Предварительный анализ результатов компьютерных записей диспетчерского контроля показал, что значения КМВ существенно отличаются в дневное и ночное время [9].

Таблица 1

Исходные данные результатов компьютерного контроля КМВ и числа включений

№ лифта	Адрес дома и тип лифта / количество подъездов	N/R	$M_к$/ $M_{1к}$, кв.	Z, чел.	$v_{расч}$, м/с	Средний КМВ			Средняя частота включений в мин., ЧМВ		
						дневной	ночной	общий	дневная	ночная	общая
1	Орбитальная, 68/1	9/5	171/19	303	0,63	0,252	0,065	0,197	2,61	2,606	2,609
	Беляева, 22/2	9	212/20								
2	Пассажирский	9/5	106/10	144	0,63	0,119	0,036	0,095	2,361	2,380	2,366
3	Пассажирский	9/5	106/10	240	0,63	0,2	0,046	0,155	2,054	2,103	2,068
	Капустина, 14/3	9	144/12								
4	Пассажирский	9/5	36/4	72	0,67	0,077	0,017	0,060	3,807	4,282	3,945
5	Пассажирский	9/5	36/4	99	0,67	0,085	0,02	0,066	3,067	3,360	3,152
6	Пассажирский	9/5	36/4	111	0,67	0,055	0,015	0,043	3,162	4,320	3,500
	Космонавтов, 37/2	18	140/2								
7	Пассажирский	18/5	35/2	65	0,91	0,167	0,031	0,127	2,004	2,367	2,110
8	Грузовой	18/8	35/2	43	0,91	0,105	0,048	0,088	2,213	2,445	2,281
	Пановой, 30/1	24									
9	Пассажирский	24/5	108/0	310	1,35	0,234	0,038	0,177	2,265	2,164	2,236
10	Пассажирский	24/5	108/0	347	1,35	0,276	0,05	0,210	2,219	2,433	2,281
11	Грузовой	24/13	106/0	165	1,35	0,137	0,021	0,103	2,083	1,886	2,025

[1] *Диспетчерский комплекс «ОБЬ».* Руководство по эксплуатации РЭ 3434-001-49739805-07. URL: https://lkds.ru/upload/docs/pdf/general/RE_3434-001-49739805-07_5.pdf (дата обращения: 11.04.2023).

[2] *Система лифтового диспетчерского контроля и связи СЛДКС-1.* Руководство по эксплуатации. Ч. 1. Техническое описание ЕСАН.484457.001РЭ. URL: http://www.mnppsaturn.ru/ftp/public/doc/sldks/re%20sldks-1m%201.pdf (дата обращения: 11.04.2023).

[3] Апрышкин Д.С. *Оценка технического состояния машин с канатной тягой на основе имитационного моделирования.* Автореф. дис. канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 2023. 21 с. URL: https://www.dissercat.com/content/otsenka-tekhnicheskogo-sostoyaniya-mashin-s-kanatnoi-tyagoi-na-osnove-imitatsionnogo-modelir/read

Постоянные значения факторов: h=3 м — межэтажное расстояние; $N_н$=1 — число этажей, жильцы которых не пользуются лифтом.

На основе приведённых данных построены зависимости коэффициента машинного времени K_m от числа пассажиров, пользующихся лифтом, Z_0 (рис. 1).

Для лифтов в домах с числом этажей 9 и 24 КМВ статистически прямо пропорционален величине Z_0. Номера точек на графиках соответствуют данным таблицы 1.

Исключениями являются положения точек 4 и 6. Данные отклонения в экспериментальных зависимостях вполне допустимы с учетом формирования чистого машинного времени работы лифта как стохастического процесса под воздействием многих случайных факторов. Графики на рис. 1 отражают ориентировочное положение прямых $K_{mэ}$=f(Z_0), точное положение линий получено методом наименьших квадратов [10].

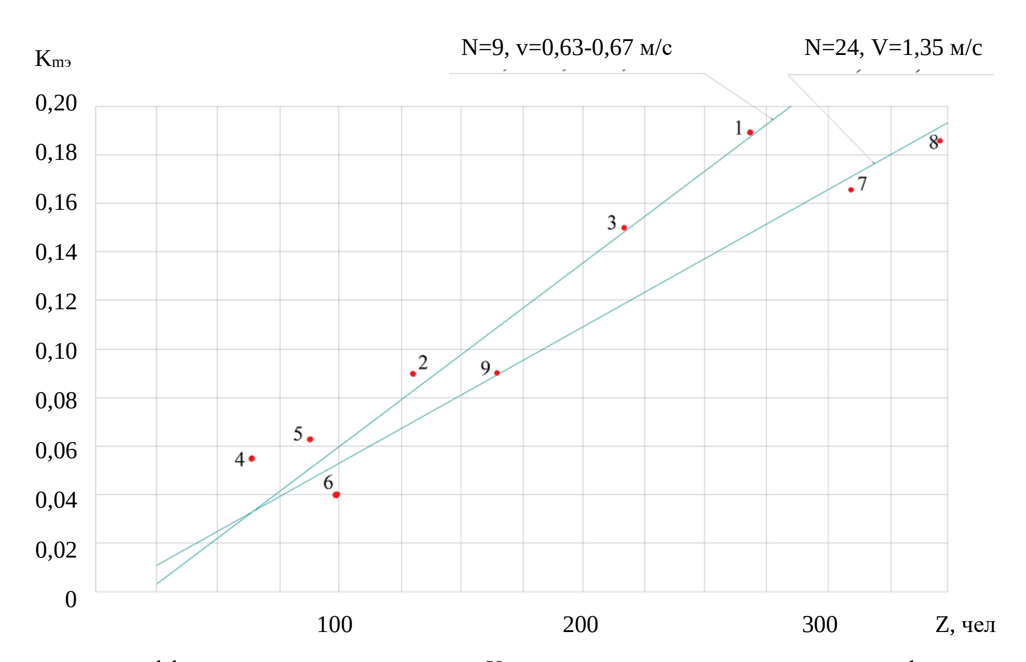


Рис. 1. Зависимости коэффициента машинного времени $K_{mэ}$ от числа жильцов, пользующихся лифтом, для среднесуточной обработки данных

На графиках рис. 1 отчетливо видно, что КМВ-$K_{mэ}$ линейно зависит от числа пассажиров, пользующихся лифтом, Z_0, а при увеличении скорости движения кабины, *v*, КМВ снижается.

При построении математической модели (1) среднего значения КМВ принята структура, состоящая из трех сомножителей: $\frac{\alpha_{m1}}{\lambda_н}$ — учитывает угол наклона прямой в зависимости от периода времени суток; $Z_i(1-\frac{M_{k1i}}{M_{ki}})$ — количество жильцов, пользующихся лифтом; $\Phi(\frac{v_{расч.i}}{v_{баз}})$ — функция изменения КМВ от соотношения скоростей лифта, принятого в качестве базового, $v_{баз}$, и лифта с конкретной скоростью, $v_{расч.i}$. В качестве базового принят лифт N=9 со средней скоростью, $v_{баз}$=0,65 м/с. При этом прямые K_{mi}=f(Z_i) проходят через начало координат:

$$K_{mi}=\frac{\alpha_{m1}}{\lambda_н}\cdot Z_i(1-\frac{M_{k1i}}{M_{ki}})\cdot\Phi(\frac{v_{расч.i}}{v_{баз}}), \quad (1)$$

где i=1, 2, 3 и т. д. определяет номер прямой с фиксированным значением средней скорости движения кабины, $v_{расч.i}$, вдоль которой концентрируются значения K_{mi} в зависимости от числа жителей дома (подъезда), пользующихся лифтом:

i=1 — лифты со средней скоростью $v_{расч.1}$=0,63–0,65 м/с;

i=2 — лифты со средней скоростью $v_{расч.2}$=0,91 м/с;

i=3 — лифты со средней скоростью $v_{расч.3}$=1,35 м/с;

$\lambda_н$ — коэффициенты снижения КМВ в ночной период, определённые на основе обработки результатов мониторинга (таблица 1): для N=9 и v_1=0,63…0,67 м/с — $\lambda_{н1}$=3,0; для N=18 и v_2=0,91 м/с — $\lambda_{н2}$=3,5; для N=24 и v_3=1,35м/с — $\lambda_{н3}$=4,0; для дневного режима: N=9, v_1=0,63 и 0,67 м/с — $\lambda_{н1}$= 0,773; N=18, v_2=0,91 м/с — $\lambda_{н2}$=0,721; N=24, v_3=1,35 м/с — $\lambda_{н3}$=0,669.

α_{m1} — угловой коэффициент базовой зависимости $K_{m1}=\alpha_{m1}\cdot Z_0$; для крайней правой точки базовой линейной зависимости при Z=303 чел., Z_0=269 чел., K_{m1}=0,197 получим (см. первую строчку табл. 1):

$$\alpha_{m1}=\frac{0,197}{269}=0,00073\ (\frac{ед.ЧМВ}{чел.}).$$

$\Phi(\frac{v_{расч.i}}{v_{баз}})$ — линейная функция, учитывающая влияние соотношения наименьшей скорости, $v_1=v_{баз}=0{,}65$ м/с, к реальной скорости лифта, $v_{расч.2}=0{,}91$, $v_{расч.3}=1{,}35$ и др.

Установим вид функции $\Phi(\frac{v_{расч.i}}{v_{баз}})$, используя данные таблицы 2. Функция должна пройти через точки α_{m1}, α_{m2} и α_{m3}. Числовые характеристики для этих точек приведены в таблице 2.

Таблица 2

Числовые характеристики точек α_{m1}, α_{m2} и α_{m3}

Точки	1	2	3
v, м/с	0,65	0,91	1,35
$K_{m.max}$	0,197	0,192	0,186
$Z_{0.max}$	269	300	347
α_{mi}	0,00073	0,00064	0,00054

Уравнение прямой, проходящей через две точки, 1 и 3.

Обозначим $\alpha_{mi} = y$; $\frac{v_i}{v} = x$. Координаты точек 1–x_1=1; y_1=1;
3–x_3=1,35/0,65=2,08; y_3=0,00054/0,00073=0,762. Уравнение прямой:

$$\frac{x-1}{2{,}08-1} = \frac{y-1}{0{,}762-1};$$

после простых преобразований получаем y=1,22–0,22x.

Тогда $\Phi\left(\frac{v_{расч.i}}{v_{баз}}\right) = 1{,}22 - 0{,}22\,\frac{v_{расч.i}}{v_{баз}}$. Уравнение (1) принимает вид

$$K_{mi} = \frac{\alpha_{m1}}{\lambda_н} \cdot Z_i(1 - \frac{M_{k1i}}{M_k}) \cdot (1{,}22 - 0{,}22\,\frac{v_{расч.i}}{v_{баз}}). \quad (2)$$

Результаты исследования. Оценка достоверности результатов расчетов по формуле (2), $K_{mрасч.}$, в сравнении с данными диспетчерских записей, $K_{m.э.}$, приведена в таблице 3.

Таблица 3

Сравнение результатов расчетов и данных диспетчерских записей

№	i	$V_{расч.i}$, м/с	Z_i, чел.	M_{k1i}, чел.	M_{ki}, чел.	$K_{m.расч.}$	$K_{m.э.}$
1	1	0,65	240	106	10	0,152	0,150
3	1	0,65	99	36	4	0,062	0,063
4	2	0,91	130	35	4	0,094	0,120
5	2	0,91	143	35	4	0,081	0,080
6	3	1,35	310	108	0	0,166	0,166
7	3	1,35	165	108	0	0,089	0,090

Как видно по выражению (2), в явном виде этажность дома N в формулу не входит. Косвенно влияние N проявляется через Z_0. Влияние Z_0 (50...300 чел.) и $v_{расч}$ (0,6…2,0 м/с) приведено на рис. 2. Как следует из этих зависимостей, при увеличении средней скорости движения лифта, $v_{расч.i}$, практически пропорционально снижается КМВ. С увеличением заселенности дома КМВ пропорционально увеличивается.

Таким образом, в широком диапазоне влияющих факторов математическая модель (2) обеспечивает получение результатов, адекватных экспериментальным значениям (отклонение экспериментальных данных в сравнении с расчетными не превышает в большинстве случаев 10 %) и позволяет прогнозировать величину КМВ при изменении важнейших факторов — плотности заселения дома или подъезда и скорости движения кабины, от которых в значительной мере зависит нагруженность лифтового оборудования.

Вместе с тем, соотношение (2) учитывает влияние на КМВ только двух факторов: Z_0, и $v_{ср}$. Величина N непосредственно в формулу не входит, что ограничивает ее применение и снижает наглядность при практическом использовании. Эта формула обобщает только совокупность данных регулярных наблюдений, ограниченных таблицей 1.

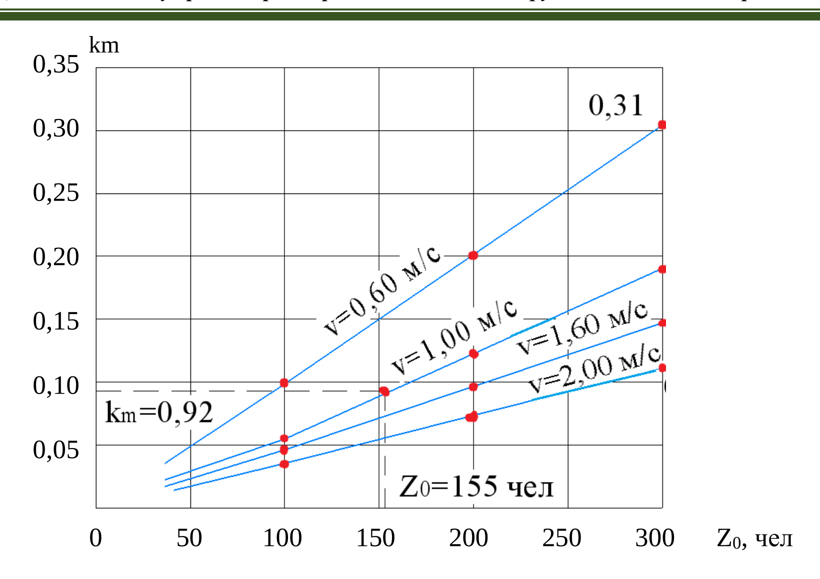


Рис. 2. Расчетные зависимости КМВ от числа жильцов дома (подъезда), Z_0, пользующихся лифтом, и средней скорости движения кабины

Воспользуемся другим подходом для вывода общего соотношения K_m=f(N, $v_{ср}$, Z_0). Проведенными ранее исследованиями[3] доказано, что среднее значение КМВ пропорционально Z_0, причем коэффициенты пропорциональности для домов различной этажности существенно различаются. Так, для лифтов N=9 и $v_{ср}$=0,63 м/с коэффициент, характеризующий отношение приращения КМВ Δ_{Km} к приращению числа жильцов, пользующихся лифтом Δ_{Z0}, составляет $\frac{\Delta_{Km}}{\Delta_{Z0}} = 0{,}075\ \frac{\text{ед.}K_m}{100\ \text{чел}}$, для лифтов N=24 и $v_{ср}$=1,35 м/с — $\frac{\Delta_{Km}}{\Delta_{Z0}} = 0{,}055\ \frac{\text{ед.}K_m}{100\ \text{чел}}$.

Эти данные свидетельствуют о зависимости удельного КМВ–$\frac{\Delta_{Km}}{\Delta_{Z0}}$ (т. е. приходящегося на одного списочного жильца, пользующегося лифтом) от двух основных факторов — этажности дома N и средней скорости движения кабины $v_{ср}$.

С увеличением этажности среднее количество пролетов, проходящих лифтом за один цикл, увеличивается прямо пропорционально числу этажей. При неизменном числе циклов в единицу времени для обеспечения необходимой пропускной способности лифта машинное время цикла с ростом этажности будет пропорционально расти. С увеличением средней скорости продолжительность рейса и машинное время пропорционально снижаются.

Если обозначить коэффициент влияния перечисленных факторов N и $v_{ср}$ на удельный КМВ α_{Km}, то в первом приближении зависимость α_{Km}=f(N,$v_{ср}$) будет иметь вид:

$$\alpha_{Km}=\alpha_{Km0}+\frac{K_1\cdot N}{K_2+v}, \qquad (3)$$

где $\alpha_{Km0}=0{,}0004\ \frac{\text{ед.}K_m}{100\text{чел}}$ — минимальное значение удельного КМВ, зафиксированное в результате обработки данных диспетчерского наблюдения.

Используя экспериментальные данные и приведенные логические рассуждения, получим обобщенную зависимость удельного КМВ от N и $v_{ср}$:

$$\alpha_{Km}=0{,}0004+\frac{0{,}00228N}{v_{ср}-0{,}358}. \qquad (4)$$

Размерность величины $[\alpha_{Km}]=\frac{\text{ед.}K_m}{100\ \text{чел}}$. В выражении (4) удельный КМВ пропорционален числу этажей дома и обратно пропорционален средней скорости кабины. Обоснование структуры формулы (4) произведено согласно рекомендациям [10, 11], подбор постоянных K_1 и K_2 выполнен по методике [12, 13].

Зависимости α_{Km}=f(N, $v_{ср}$) в графической форме в диапазонах переменных N=(9…24), v=(0,6…2,0 м/с) приведены на рис. 3.

Покажем на примере для лифта, не входящего в число объектов регулярных наблюдений, вычисление КМВ с использованием выражения (4). Исходные данные: N=16; $v_{ср}$=1 м/с; Z_0=250 (2,5x100) чел.

Результаты вычислений:

$$\alpha_{Km}=0{,}0004+\frac{0{,}0228N}{v_{ср}-0{,}358}=0{,}0004+\frac{0{,}00228\cdot 16}{1-0{,}358}=0{,}0569\ \frac{\text{ед.}K_m}{100\ \text{чел}}.$$

Расчетный КМВ работы лифтовой установки:

$$K_m=0{,}0569\cdot 2{,}5=0{,}142.$$

Формула (4) справедлива при N=9…24, $v_{ср}$=0,6…2,0 м/с, при произвольном числе жильцов Z_0 и позволяет определить предварительное значение КМВ при оценке нагруженности режима эксплуатации лифта.

Следует отметить, что строгих закономерностей для другого важнейшего показателя (удельного числа включений в единицу чистого машинного времени — ЧМВ, $n_{ср}$) установить не удалось. Отметим, что связь между K_m и n не прослеживается (таблица 4 и рис. 4).

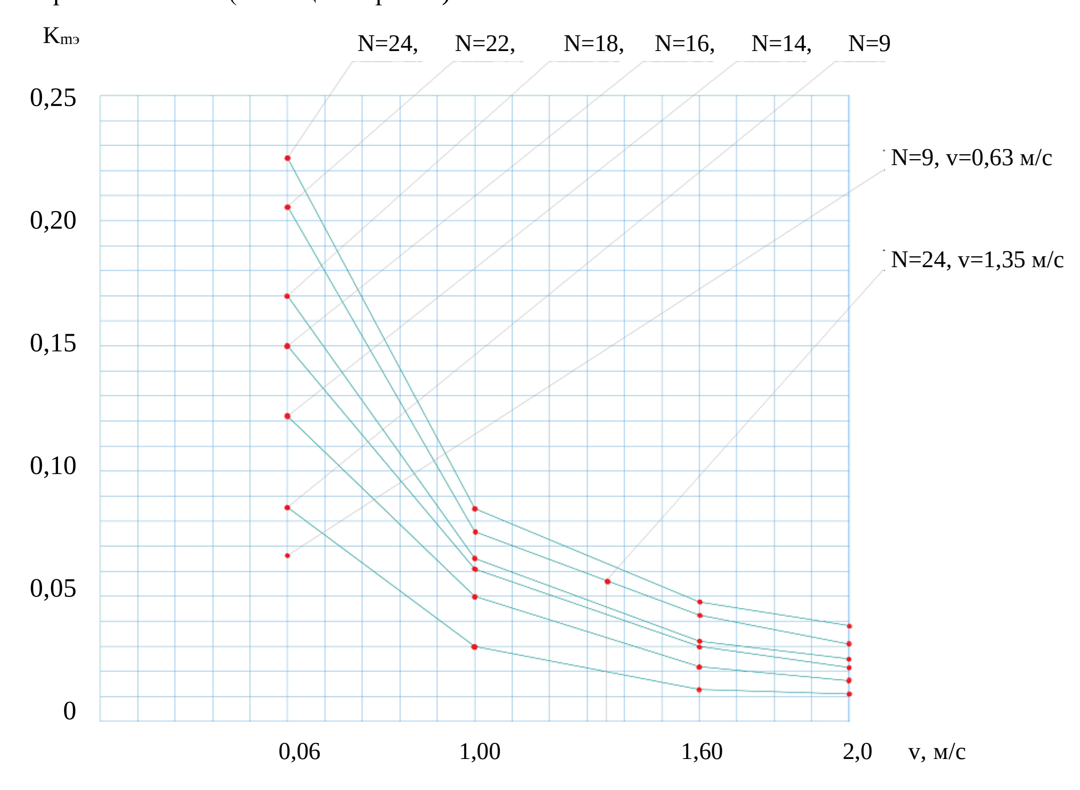


Рис. 3. Зависимость удельного КМВ от этажности дома и скорости лифта

Таблица 4

Средние значения показателей режимов работы лифтов

№ лифтов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
КМВ	0,190	0,089	0,149	0,056	0,063	0,040	0,145	0,065	0,088	0,107	0,080
n, 1/мин. ЧМВ	2,45	2,13	1,90	3,43	2,75	2,86	1,95	1,83	3,08	2,25	1,89

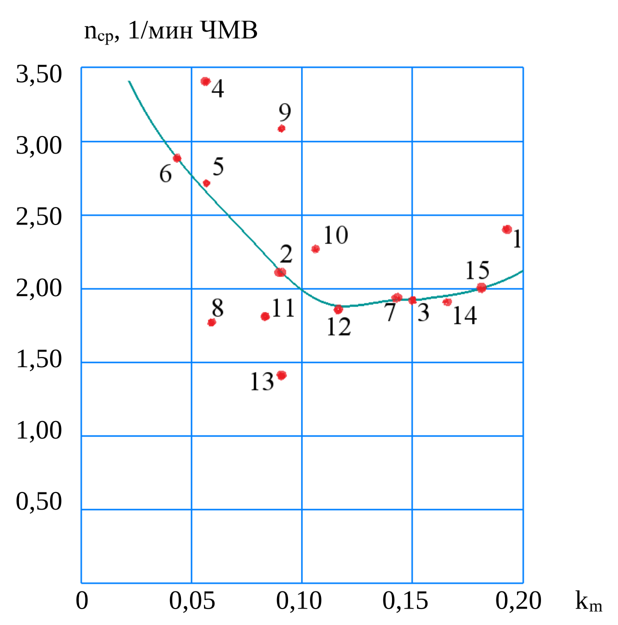


Рис. 4. Взаимосвязь случайных значений $n_{ср.}$ и $K_{mср.}$

Результаты обработки данных ежедневного мониторинга работы лифтовых установок с различными характеристиками в отличающихся по типам жилых многоэтажных зданиях, а также однотипных или идентичных лифтовых установок в одном многоподъездном строении представлены в таблице 4. Основные показатели режима работы главного привода (ГП) лифта изменяются в широких пределах: КМВ — в пять раз, от 0,04 до 0,19, количество включений в минуту ЧМВ — в 1,87 раза, от 1,83 до 3,43. КМВ объективно характеризует чистое время нахождения всех элементов лифта в рабочем состоянии, значения этого коэффициента для большинства установок находятся на низком уровне (0,05…0,2). Это свидетельствует о существенной недогрузке главного привода и других узлов. Удельное количество включений определяет частоту приложения динамических нагрузок на привод, канаты, конструкцию кабины и другие узлы. Характерное значение числа включений — от двух до трех в минуту ЧМВ, в пересчете на часовую частоту включений это составит 120…180 включений, что вполне допустимо для используемых двигателя, редукторов и тормозных устройств.

Обсуждение и заключение. При проектировании и реализации систем технического обслуживания пассажирских лифтовых установок необходимо прежде всего определять уровень нагруженности их основных силовых элементов — двигателя, редуктора, канатоведущего шкива, канатов и др. [14]. Среди важнейших показателей степени загрузки системы следует учитывать КМВ и частоту включений. Наиболее надежным способом прогнозирования перечисленных показателей является статистическая обработка данных диспетчерского контроля за работой лифтов. Представленные эмпирические зависимости коэффициента машинного времени от этажности домов, числа жильцов, пользующихся лифтом, и скорости движения кабины также являются базовыми при имитационном моделировании временны́х показателей работы лифтовых установок, вводимых в эксплуатацию, а также лифтов, которые не снабжены системой диспетчерского контроля.

Список литературы

1. Панфилов А.В., Юсупов А.Р., Короткий А.А. и др. О контроле технического состояния лифтовых канатов на основе технологий искусственного интеллекта и компьютерного зрения. *Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don).* 2022;22(4):323–330. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2022-22-4-323-330

2. Jae-Hak Lim, Dong Ho Park. Optimal Periodic Preventive Maintenance Schedules with Improvement Factors Depending on Number of Preventive Maintenances. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*. 2007;24(1):111–124. https://doi.org/10.1142/S0217595907001139

3. Hongjiu Liu, Jiaxuan Wu. Research on Preventive Maintenance Strategy of Elevator Equipment. *Open Journal of Social Sciences.* 2018;06(01):165–174. https://doi.org/10.4236/jss.2018.61012

4. Li Y.H., Liu Z. Maintenance Interval Optimization Method Based on Improvement Factor for System Components. *Mechanical Engineering & Automation*. 2016;4:6–8.

5. Gia-Shie Liu. Three M-Failure Group Maintenance Models for M/M/N Unreliable Queuing Service Systems. *Computers & Industrial Engineering*. 2012;62(4):1011–1024. https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.12.028

6. Almgren T., Patriksson M., Wojciechowsri A. Optimization Models for Improving Periodic Maintenance Schedules by Utilizing Opportunities. In: *Proceedings of the 4th Production and Operations Management World Conference.* The Netherlands, Amsterdam; 2012.

7. Хазанович Г.Ш., Апрышкин Д.С. Современные системы контроля состояния лифтовых установок. *Безопасность техногенных и природных систем*. 2019;(2):37–40. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2019-2-37-40

8. Шпет Н.А, Муравьев О.П. Исследование отказов пассажирских лифтов по данным эксплуатации. *Известия Томского политехнического университета.* 2013;323(4):123–126. http://earchive.tpu.ru/handle/11683/5035

9. Хазанович Г.Ш., Апрышкин Д.С. Оценка нагруженности силовых элементов пассажирского лифта по результатам регулярного мониторинга. *Безопасность техногенных и природных систем.* 2020;(1):32–42. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-1-32-42

10. Губанов В.С. *Обобщенный метод наименьших квадратов.* Монография. Санкт-Петербург: Наука; 1997. 318 с. URL: http://pzs.dstu.dp.ua/DataMining/mls/bibl/gubanov.pdf (дата обращения: 12.06.2023)

11. Вентцель Е.С. *Теория вероятностей.* Учебник для вузов. Москва: Высшая школа; 1999. 576 с.

12. Гнеденко Б.В. *Курс теории вероятностей.* Учебник. Москва: Либроком; 2011. 448 с.

13. Гмурман В.Е. *Теория вероятностей и математическая статистика.* Учебник для вузов. Москва: Высшая школа; 2003. 479 с.

14. Подберезина С.Г. Лифтовое хозяйство: организуем систему планово-предупредительного ремонта. *Промышленная безопасность*. 2020;3:73–84. https://www.profiz.ru/pb/3_2020/lift_remont/

References

1. Panfilov AV, Yusupov AR, Korotkiy AA, Ivanov BF. On the Control of the Technical Condition of Elevator Ropes Based on Artificial Intelligence and Computer Vision Technology. *Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don).* 2022;22(4):323–330. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2022-22-4-323-330

2. Jae-Hak Lim, Dong Ho Park. Optimal Periodic Preventive Maintenance Schedules with Improvement Factors Depending on Number of Preventive Maintenances. *Asia-Pacific Journal of Operational Research.* 2007;24(1):111–124. https://doi.org/10.1142/S0217595907001139

3. Hongjiu Liu, Jiaxuan Wu. Research on Preventive Maintenance Strategy of Elevator Equipment. *Open Journal of Social Sciences.* 2018;06(01):165–174. https://doi.org/10.4236/jss.2018.61012

4. Li YH, Liu Z. Maintenance Interval Optimization Method Based on Improvement Factor for System Components. *Mechanical Engineering & Automation.* 2016;4:6–8.

5. Gia-Shie Liu. Three M-Failure Group Maintenance Models for M/M/N Unreliable Queuing Service Systems. *Computers & Industrial Engineering*. 2012;62(4):1011–1024. https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.12.028

6. Almgren T, Patriksson M, Wojciechowsri A. Optimization Models for Improving Periodic Maintenance Schedules by Utilizing Opportunities. In: *Proceedings of the 4th Production and Operations Management World Conference.* The Netherlands, Amsterdam; 2012.

7. Khazanovich GS, Apryshkin DS. Modern condition monitoring systems of elevator units. Safety of Technogenic and Natural Systems. 2019;(2):37–40. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2019-2-37-40

8. Shpet NA, Muravlev OP. Investigation of passenger lift failure by the operation data. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University.* 2013;323(4):123–126. http://earchive.tpu.ru/handle/11683/5035

9. Khazanovich GS, Apryshkin DS. Assessment of load of load-bearing elements of the passenger elevator based on regular monitoring results. *Safety of Technogenic and Natural Systems*. 2020;1:32–42. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-1-32-42

10. Gubanov VS. *Obobshchennyi metod naimen'shikh kvadratov*. Monograph. Saint-Petersburg: Nauka; 1997. 318 p. URL: http://pzs.dstu.dp.ua/DataMining/mls/bibl/gubanov.pdf (accessed: 12.06.2023)

11. Venttsel ES. *Teoriya veroyatnostei*. Textbook for universities. Moscow: Vysshaya shkola; 1999. 576 p.

12. Gnedenko BV. *Kurs teorii veroyatnostei.* Textbook. Moscow: Librokom; 2011. 448 p.

13. Gmurman VE. *Teoriya veroyatnostei i matematicheskaya statistika.* Textbook for universities. Moscow: Vysshaya shkola; 2003. 479 p.

14. Podberezina SG. Liftovoe khozyaistvo: organizuem sistemu planovo-predupreditel'nogo remonta. *Promyshlennaya bezopasnost'.* 2020;3:73–84. https://www.profiz.ru/pb/3_2020/lift_remont/

Поступила в редакцию 03.07.2023
Поступила после рецензирования 24.07.2023
Принята к публикации 24.07.2023

Об авторах:

Хазанович Григорий Шнеерович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник центра научных компетенций Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), AuthorID, ORCID, hazanovich@mail.ru

Апрышкин Дмитрий Сергеевич, старший преподаватель кафедры эксплуатации транспортных систем и логистики Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), AuthorID, ORCID, aprechnik@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

Г.Ш. Хазанович — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, доработка текста, оценка достоверности результатов, корректировка выводов.

Д.С. Апрышкин — вывод аналитических соотношений, подготовка текста, анализ результатов исследований, формирование выводов, проведение расчетов.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Received 03.07.2023
Revised 24.07.2023
Accepted 24.07.2023

About the Authors:

Grigorii Sh. Khazanovich, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher of the Center for Scientific Competencies, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), AuthorID, ORCID, hazanovich@mail.ru

Dmitrii S. Apryshkin, Senior lecturer of the Transport Systems and Logistics Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), AuthorID, ORCID, aprechnik@mail.ru

Claimed contributorship:

GSh Khazanovich: formulation of the basic concept, goals and objectives of the study; revision of the text; evaluation of the reliability of the results; correction of conclusions.

DS Apryshkin: derivation of analytical relations; preparation of the text; research results analysis; drawing conclusions; carrying out calculations.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.